

【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 26-112

補助事業名 平成26年度 A I -亜鉛メッキ鋼板継手疲労信頼性研究 補助事業

補助事業者名 岐阜大学工学部機械工学科 植松美彦

1 研究の概要

A I -亜鉛メッキ鋼板異種金属摩擦攪拌スポット接合 (FSSW) 継手を、プローブの無い渦溝ツールで作製した。詳細な界面観察から、接合中の入熱によってZnが溶融してナゲット外縁部に押し出され、露出したFeの新生面で金属間化合物が形成されて接合が達成されること、ナゲット外縁部に存在する溶融・再凝固したZnが応力緩和を引き起こすため、A I -亜鉛メッキ鋼板継手の疲労強度が高強度となる事を明らかにした。

2 研究の目的と背景

輸送機器における省エネルギー化のためには、車体の軽量化が最も効率的かつ重要である。したがって、鋼材に変わりA I合金のような軽量構造材料を広範に利用することが求められる。しかしA I合金は鋼板に比べて剛性に劣り、強度部位には鋼板を用いる必要がある。自動車分野ではZnメッキ鋼板が一般的に用いられるが、実機で問題となるZnメッキ鋼板とA I薄板との異材接合については十分な研究が行われていない。またほぼ全ての機械構造物は使用時に繰返し荷重が付与され、常にその疲労破壊が問題となるため、異材継手についても高い疲労信頼性が求められるのは当然である。異種金属スポット接合材の疲労では、界面を疲労破壊が進行することが知られていが、Znメッキ鋼板とA I薄板の接合時には界面に薄いZnメッキ層が存在し、このZn層が異材接合に及ぼす影響や疲労破壊機構に及ぼす影響については明らかになっていない。本研究では、界面部の巨視的、微視的組織や組成などを詳細に観察するとともに、疲労試験による界面き裂発生、進展様相を観察することにより、Zn層の界面分布によってどのような疲労破壊が生じるのかを明らかにするとともに、界面での最適なZn分布状態を提案することで、高疲労信頼性の継手を作製することを目的としている。

3 研究内容

① A I -亜鉛メッキ鋼板継手疲労信頼性に関する研究

(1) A I -亜鉛メッキ鋼板接合

図1に示すような渦溝ツールを用いてA I板を上側、亜鉛メッキ鋼板を下側に設置して接合を行い、引張りせん断試験片を作製した。ツールの回転速度・保持時間・押し込み量を変化させ、複数

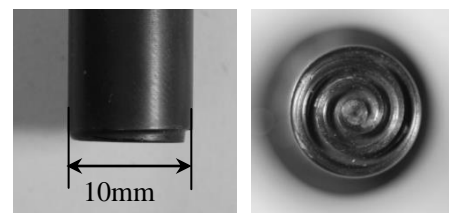


図1 ツール形状.

の条件下で接合した試験片を用いて事前の引張り試験を実施した。その結果、ツールの回転数が3000rpm、保持時間5秒、ツールの押し込み量0.7mmの場合に最大引張りせん断荷重の3300Nが得られたため、これをその後の接合条件とした。

(2) 接合組織詳細観察

継手の断面部組織の微視的様相を図2に示す。また、図2(a)中の実線に沿ったEDXによる線分析結果も併示している。線分析により、接合界面には厚さ2ミクロン程度の金属間化合物(IMC)層が形成されている事が判明した。このIMC層ではAlとFeが検出されたことから、Al-Fe系のIMCであり、IMC層の存在によって上下板が接合されていることが示された。なお、接合界面に沿ってメッキ材料である亜鉛(Zn)が検出されなかったことに注目すべきである。図3にナグレット外周近傍(図

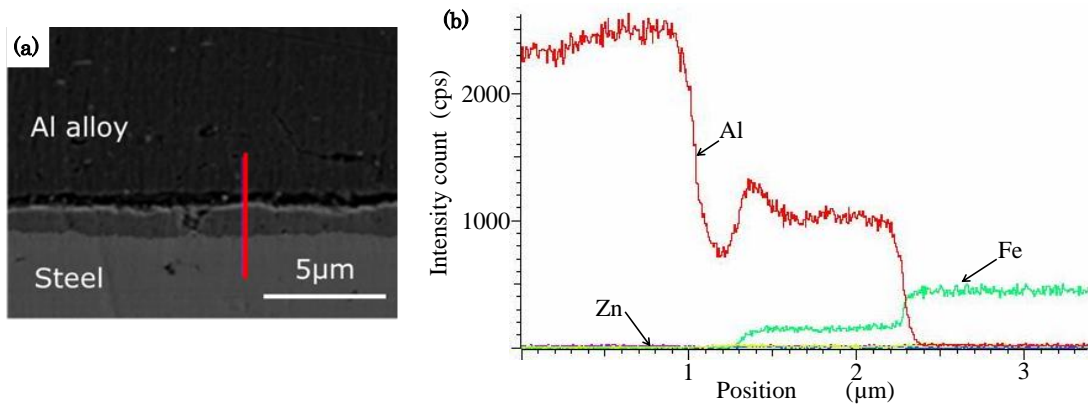


図2 接合界面のSEM像とEDXによる線分析結果.

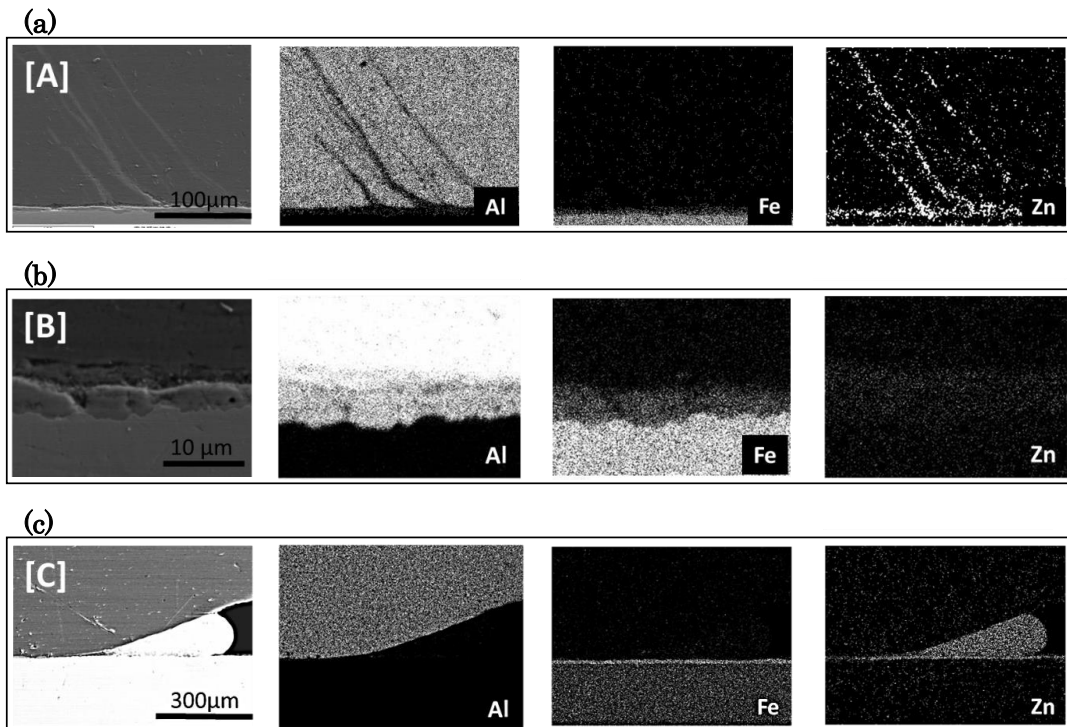


図3 接合界面のEDXマップ (Al, FeおよびZn).

3 (a))、ナゲット中央部 (図3 (b))、ナゲット外縁部 (図3 (c)) の接合界面におけるAl、FeおよびZnに関するEDX面分析結果を示す。Znの検出結果より、Znがナゲット円周の外部へ押し出されていることがわかる。すなわち、接合中の入熱によってZnが軟化してナゲット外周へ押し出され、Feの新生面が露出してAlとIMCを形成して接合したことを示している。

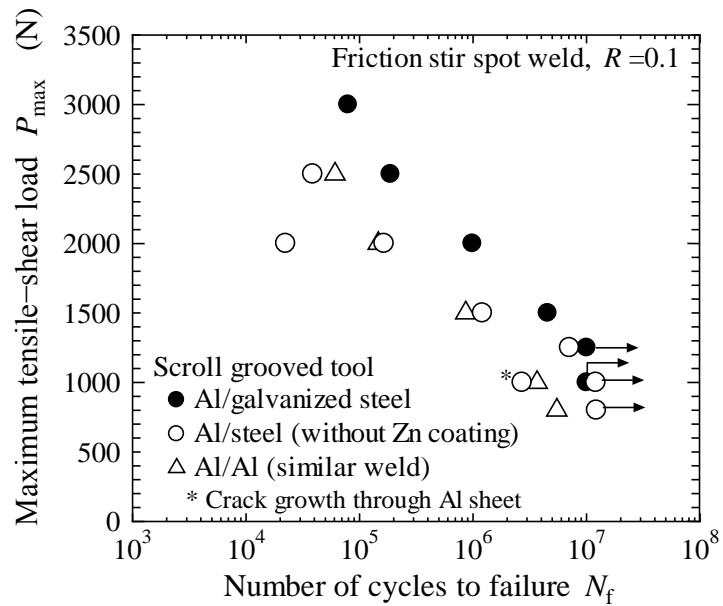


図4 最大負荷応力 P_{max} と破断繰返し数 N_f の関係。

(3) 疲労試験結果

疲労試験の結果を図4に示す。同図には、同じツールを用いて接合したAl-Al継手の結果と、亜鉛メッキのない鋼板とAlを接合した継手の結果も併記している。●印の結果がAl-亜鉛メッキ鋼板継手の疲労強度であるが、図より亜鉛メッキのない鋼板と接合した場合と比較し、亜鉛メッキを有する鋼板と接合した場合の方が、高い疲労強度を有することが判明した。また、破面上の成分分析、およびデジタルマイクロスコープによる界面き裂観察により、疲労き裂は主としてIMC相とFeの界面に沿って進展する事が明らかとなった。

(4) 疲労破壊機構と応力分布

亜鉛メッキした鋼板と接合した方が、メッキのない鋼板と接合した場合よりも疲労強度が高くなった原因を特定するため、ナゲット周りのFEM応力解析を行った。図3 (c) に示した実際のナゲット外縁部形状を元に図5に示すようなFEM解析を行った。図5 (a) はナゲット外縁部に溶融・再凝固したZnが存在した状態で、図5 (b) はZnのない状態を再現している。試験片長手方向に荷重を負荷した場合の、ナゲット中央断面におけるvon Mises応力の分布を図6に示す。図の▲印がZnのある場合、△印がZnのない場合を表している。図より、Znがある場合の方が、ない場合よりも応力が低くなっていることがわかる。すなわち、溶融・再凝固したZnがナゲット周囲に存在することで、応力緩和が生じる。その結果、Al-亜鉛メッキ鋼板継手の疲労強度が図4で示したように高強度になったと考えられる。

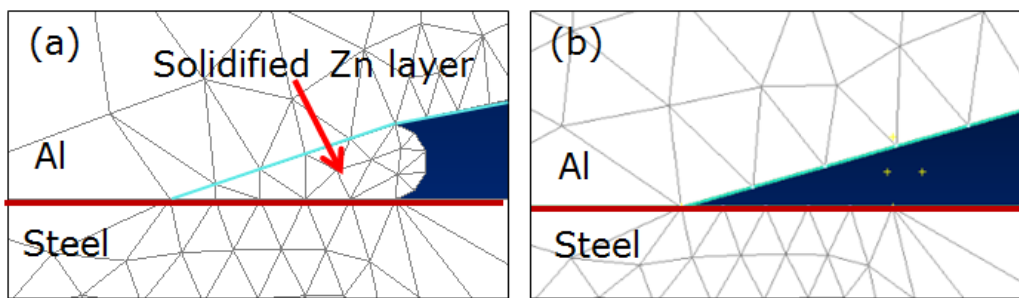


図5 接合界面のFEMモデル。(a)再凝固Znあり。(b)再凝固Znなし。

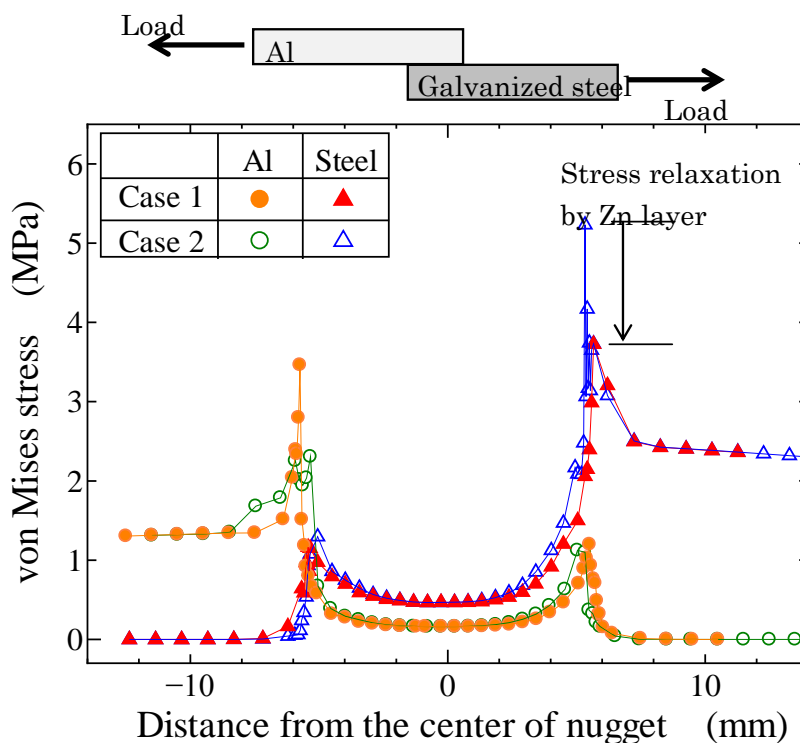


図6 ナゲット断面における von Mises の応力。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

Al合金と鋼板の摩擦攪拌接合継手の作製例は多い。しかし、実際に自動車などの輸送機器分野で利用されているのは亜鉛メッキ鋼板である。亜鉛はAlとは金属間化合物を形成しないため、Alと亜鉛メッキ鋼板の接合メカニズムや疲労強度特性については不明な点が多かった。本研究成果により、Al合金板と亜鉛メッキ鋼板の高強度なスポット接合が可能になったとともに、熔融・再凝固した亜鉛が応力緩和を引き起こすために継手強度が向上するメカニズムを明らかにした。すなわち、亜鉛メッキの存在がむしろ高強度化に有利なことを示すものである。亜鉛メッキ鋼板は輸送機器分野で最も一般的な材料の一つであり、その鋼板とAl合金板の高疲労強度継手が作製可能である事から、輸送機器分野での異種金属継手の実用化とそれに伴う軽量化を促進できることが期待

される。特にAl合金板や亜鉛メッキ鋼板はCFRPなどに比べれば安価であり、本研究成果の適用により、より安価に軽量の構造体の作製が可能となり、輸送機器分野での利用拡大が予想される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者は摩擦攪拌スポット接合に関する研究を数多く行っているが、本研究は実用的な亜鉛メッキ鋼板を利用しており、蓄積した研究結果をより実用に近づける内容・位置づけとなっている。また、本研究にかかわる博士後期課程の学生が、平成27年度付けで学位取得予定である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

Fatigue behavior of dissimilar Al alloy/galvanized steel friction stir spot welds fabricated by scroll grooved tool without probe, I. Ibrahim, Y. Uematsu, T. Kakiuchi, Y. Tozaki, Proceedings of the 3rd China-Japan Joint Symposium on Fatigue of Engineering Materials and Structures, Takayama, Gifu, Japan, pp. 47-51 (2014-11).

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当なし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

日本材料学会 疲労部門委員会主催 第3回日中疲労シンポジウム講演論文集 (2014年11月, 47-51ページ)

「Fatigue behavior of dissimilar Al alloy/galvanized steel friction stir spot welds fabricated by scroll grooved tool without probe」



8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 岐阜大学工学部機械工学科植松研
(ギフダイガクキカイコウガツカウエマツケン)

住 所： 〒501-1193
岐阜市柳戸 1 - 1

申 請 者： 教授・植松美彦 (ウエマツヨシヒコ)

担 当 部 署： 同上

E - m a i l : yuematsu@gifu-u.ac.jp

U R L : <http://www1.gifu-u.ac.jp/~fatigue/>